

Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para empresas públicas municipales de aseo integral zona 3 Ecuador



Design of a leachate treatment plant for Municipal Public Companies of Integral Toilet, Ecuador in Zone 3

Mónica Lilian Andrade Avalos.¹, Danielita Fernanda Borja Mayorga.² & Hugo Segundo Calderón.³

Recibido: 10-11-2019 / Revisado: 18-11-2019 / Aceptado: 14-12-2019/ Publicado: 04-01-2020

Abstract

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1094>

The objective of this project was the design of a leachate treatment plant for Municipal Public Companies of Integral Toilet, Ecuador in Zone 3, in order to reduce the contaminant load and comply with the provisions of the Unified Text of Environmental Secondary Legislation (TULSMA) book VI, Annex 1, table 9. The Municipal Public Company Joint Patate - Pelileo Comprehensive Toilet EMMAIT-EP, based on a technical study, provided experimental data on its wastewater. Standard Methods for the Examination of Water and Residual Water were followed and physical, chemical and microbiological characterization was obtained. In order to determine the data of the landfill flow, the volumetric method was used based on the days when there is a greater waste discharge. It was identified that the parameters outside the maximum permissible limit for discharges to bodies of fresh water are: chemical oxygen demand (COD) 3670 mg / l, biological oxygen demand (BOD5) 7060 mg / l, total nitrogen 13600 mg / l, total solids 7080 mg / l, sulfides 2.60 mg / l, surfactants 3.45 mg / l. The treatment applied was purely biological with the use of artificial wetlands and an evaporation process with the use of solar radiation (solar distiller). The efficiency of these treatments in the removal of the contaminant load was determined, giving the following results in the analyzes to the treated water: COD 125 mg / l, BOD5 71 mg / l, total nitrogen 40.2 mg / l, total solids 728 mg / l, sulfides <0.5 mg / l and surfactants 0.47 mg / l; with an average removal percentage of 91.4%. It was concluded that after the final characterization the parameters are within the permissible limits and comply with what the TULSMA stipulates.

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, moandrade@esPOCH.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, dborja@esPOCH.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, hugo.calderon@esPOCH.edu.ec

It is recommended to use good quality materials for the construction of the different equipment, to increase the useful life of the equipment and the plant.

Keywords: Leachate treatment, Characterization, Permissible limits, Artificial wetland, Solar distiller.

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo el diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para Empresas Públicas Municipales de Aseo Integral de Ecuador Zona 3, con el fin de reducir la carga contaminante y cumplir con lo que estipula el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) libro VI, Anexo 1, tabla 9. La Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate-Pelileo EMMAIT-EP a partir de un estudio técnico realizado proporcionó datos experimentales del agua residual. Se siguieron Métodos Estándares para la Examinación del Agua y Agua Residual se consiguió la caracterización física, química y microbiológica. Para determinar los datos del caudal del relleno sanitario se manejó el método volumétrico en base a los días que hay mayor descarga de residuos. Se identificó que los parámetros fuera del límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce son: demanda química de oxígeno (DQO) 3670 mg/l, demanda biológica de oxígeno (DBO5) 7060 mg/l, nitrógeno total 13600 mg/l, sólidos totales 7080 mg/l, sulfuros 2,60 mg/l, tensoactivos 3,45 mg/l. El tratamiento aplicado fue netamente biológico con la utilización de humedales artificiales y un proceso de evaporación con el uso de la radiación solar (destilador solar). Se determinó la eficiencia de dichos tratamientos en la remoción de la carga contaminante, proveyendo los siguientes resultados en los análisis al agua tratada: DQO 125 mg/l, DBO5 71 mg/l, nitrógeno total 40,2 mg/l, sólidos totales 728 mg/l, sulfuros <0,5 mg/l y tensoactivos 0,47 mg/l; con un porcentaje de remoción promedio del 91,4 %. Se concluyó que después de la caracterización final los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles y cumplen con lo que estipula el TULSMA. Se recomienda utilizar materiales de buena calidad para la construcción de diferentes equipos, para ampliar la vida útil de los equipos y de la planta.

Palabras claves: Tratamiento lixiviados, Carga contaminante, Límites permisibles, Humedal artificial, Destilador solar.

Introducción

En la naturaleza los residuos generados por actividades humanas han sido considerados como abono para plantas o alimento para animales pero al ser arrojados directamente en el suelo, aire, agua la naturaleza puede auto depurarlos siendo un proceso natural de degradación, pero debido al acelerado crecimiento demográfico que genera elevadas cantidades de residuos sólidos, y a su vez éstos residuos pueden contener contaminantes considerados como peligrosos y tóxicos para la naturaleza surge la necesidad de brindarles un tratamiento adecuado que permita minimizar el impacto ambiental que pueden generar.

El manejo y la eliminación de los desechos y /o residuos domésticos e industriales en América Latina se han convertido en una problemática ambiental que los países de la región tienen que solucionar (Martínez, 2014).

Por lo general la disposición final de estos residuos se lo hace en botaderos y rellenos sanitarios que en la mayor parte de casos carecen de especificaciones técnicas como rellenos sanitarios propiamente dichos que dan como resultado problemas ambientales y sanitarios causando contaminación tanto de suelo, agua y aire entre otros efectos ambientales.

Los rellenos sanitarios liberan una gran variedad de compuestos contaminantes debido a los procesos de degradación de los residuos siendo uno de los más comunes los lixiviados que son residuos líquidos que entran en contacto con caudales de agua que atraviesan los residuos convirtiéndose en focos de amenaza de contaminación para el suelo de los alrededores, para el agua subterránea y para el agua superficial ya que al estar los lixiviados en solución acuosa contienen cuatro principales contaminantes: materia orgánica disuelta, macro componentes inorgánicos, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos (Corena, 2008).

En el Ecuador en el año 2010 por medio del Ministerio del Ambiente se crea el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos para contribuir a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales la operación con rellenos sanitarios que brinden una adecuada disposición de los residuos y / o desechos sin generar efectos adversos a la salud humana y al ambiente.

Con este motivo se elabora la normativa ecuatoriana estipulada en el Libro IV, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) describiendo el manejo adecuado de los residuos peligrosos y no peligrosos otorgando de esta manera a los municipios de los cantones que conforman las 24 Provincias responsabilidades de implementar una acertada y adecuada gestión de residuos en sus comunidades.

En el país el Distrito Metropolitano de Quito cuenta con un relleno sanitario que dispone de un sistema de tratamiento de lixiviados conformado por tres plantas: Planta de Tratamiento de Lixiviados MBR (Membranas Bio-Reactores) y Sistemas de Osmosis Inversa, Planta de Tratamiento de Lixiviados VSEP (Sistema de Osmosis Vibratoria) y Planta de Tratamiento de Lixiviados PTL (Planta de tratamiento físico químico de lixiviado), siendo un modelo de tratabilidad de lixiviados para los municipios del Ecuador.

Las Empresas Públicas de Aseo Integral de la Zona 3 – Ecuador al estar comprometidas con el cuidado del ambiente han puesto en marcha el proyecto de la separación de basura en orgánica e inorgánica, con la disposición de días definidos para su recolección; con todo esto pretende facilitar un tratamiento específico a cada uno de estos residuos. Pero la ejecución de este proyecto no es suficiente para mitigar toda la contaminación que los rellenos sanitarios generan al ambiente, debido a lo cual las Empresas Públicas de Aseo Integral, desean incluir nuevos tratamientos sobre el manejo inadecuado de los lixiviados generados en el relleno sanitario (Solís, 2008).

Los lixiviados del relleno sanitario no pueden ser vertidos en cuerpos de agua dulce directamente debido a la alta carga contaminante que estos representan según los análisis físico-químicos

realizados, por lo que son recirculados en el mismo relleno con el fin de disminuir la carga contaminante que estos representan (Álvarez, 2006).

En los análisis a los lixiviados generados se identifica parámetros fuera del límite permisible que se basa en el TULSMA 2016, libro IV, Anexo 1, tabla 9, descarga a cuerpos de agua dulce (última versión), como son sólidos totales, sulfuros, demanda biológica de oxígeno (DBO5), tensoactivos, demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total, coliformes totales y sólidos suspendidos; por lo que el grado de contaminación de estos lixiviados al ambiente son grandes y su tratamiento es primordial para contribuir a la conservación de los recursos naturales del sector.

Actualmente el Relleno Sanitario de la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate - Pelileo EMMAIT-EP, no cuenta con un manejo ambiental adecuado de los diferentes productos tanto líquidos como gaseosos generados por la descomposición diaria de basura.

Alrededor de 30 toneladas de basura se procesan diariamente en la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate-Pelileo (EMMAIT-EP) en donde se realiza la separación de los residuos sólidos (El Telégrafo, 2013).

Los desechos depositados en el relleno sanitario son generados en zonas rurales y urbanas de las ciudades de Patate y Pelileo. El tipo residuos son domiciliario, comunes y los provenientes de plazas y mercados.

El relleno sanitario tiene una impermeabilización con geomembrana y geotextil, además se contiene en la base unas chimeneas para la generación del gas metano y unos drenes en forma de espina de pescado, a través de los cuales se recoge el lixiviado generado hacia los 2 tanques recolectores. El lixiviado recolectado en estos tanques son posteriormente recirculados al relleno sanitario con la finalidad de eliminar el foco de contaminación que estos representan. Pero este sistema de acondicionamiento presenta desventajas del proceso generando el riesgo de exposición ambiental cuando los lixiviados son aplicados a la superficie del relleno, y la carencia de información y educación respecto al creciente riesgo que traería consigo una mala aplicación (Romero, 2009).

Las nuevas tecnologías como los procesos de evaporación del agua contenida por el lixiviado por calentamiento permiten lograr el control del total de emisiones de los lixiviados producidos en un relleno sanitario, quedando un lodo que se dispone nuevamente en el relleno para su disposición final (Gómez, 2006).

En esta investigación se busca diseñar un sistema de tratamiento de lixiviados conforme con las necesidades que requieran las Empresas Públicas Municipales de Aseo Integral tomando como empresa de análisis la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de Patate - Pelileo EMMAIT-EP, con el fin de disminuir la carga contaminante y cumplir con lo que estipula el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) libro VI, Anexo 1, tabla 9.

Metodología

Material y métodos, Selección de la muestra

Las muestras se recolectan manualmente y de tipo simple. Las muestras se homogenizan para obtener una muestra compuesta al final, la misma que servirá para obtener unos mejores resultados en los análisis de laboratorio. Las muestras fueron recolectadas los días lunes, miércoles y viernes, base a una recomendación de los encargados del relleno sanitario debido a que son los días donde se deposita mayor cantidad de residuos (Guevara, 2014).

Todos los procesos de laboratorio realizados para obtener el valor de cada uno de los parámetros fueron en base al manual de procedimiento técnico del Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ciencias - ESPOCH.

Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos del lixiviado y los resultados se compararon con TULSMA, Anexo 1, Libro IV, tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo los resultados se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros fuera de los límites permisibles

Parámetros	Métodos	Unidad	Resultado	Incertidumbre	Valor límite
Nitrógeno Total kjendahl	PEE/CESTTA/210 Standard Methods No. 4500-Norg C	/	13600	±6%	50
Tensoactivos	PEE/CESTTA/44 Standard Methods No.5540 C	/	3,45	±7%	0,5
Sulfuros	PEE/CESTTA/19 Standard Methods No.4500-S2- C y D	/	2,6	±5%	0,5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	PEE/CESTTA/09 Standard Methods No.5220 D	/	3670	±6%	200
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	PEE/CESTTA/46 Standard Methods No.5210 B	/	7060	±15%	100
Sólidos totales	PEE/CESTTA/10 Standard Method No.2540 B	mg/l	7080	±3%	1600
Sólidos Suspendidos	PEE/CESTTA/13 Standard Method No.2540 D	mg/l	220	±11%	130

Fuente: Grupo Investigación Facultad Ciencias, 2017

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización se obtiene el índice de biodegradabilidad para conocer qué tipo de tratamiento es factible aplicar en los lixiviados (Cisterna, 2017).

$$\frac{DBO5}{DQO} = \frac{7060}{3079} = 1,924$$

$1,924 > 0.24$ (muy biodegradable)

El resultado nos indica que es muy biodegradable (Tabla 2) y por lo tanto se debe aplicar sistemas biológicos para su tratamiento.

Tabla 2 Índice de biodegradabilidad

<i>DBO₅ / DQO</i>	<i>Índice de biodegradabilidad</i>
< 0,25	No biodegradable
0,25 – 0,4	Biodegradable
> 0,4	Muy biodegradable

Fuente Morante Hilda (Morante, 2011)

Diseño del sistema de tratamientos de lixiviados

El diseño y capacidad de los equipos se debe fundamentar en dos puntos importantes: primero en el caudal de diseño del sistema de tratamiento de lixiviados y en la utilización de destiladores solares como alternativa al uso de la radiación solar para procesos de tratamientos ambientales (Crites, 2007).

Caudal del lixiviado

El relleno sanitario de la empresa EMMAIT-EP consta con un recubrimiento de geomembranas y geo textil, lo que permite conducir el lixiviado generado hacia el vertedero y posteriormente a los tanques receptores. El caudal no es constante de manera que para determinarlo se aplica el método volumétrico de la siguiente manera:

Se realiza aforaciones directas del lixiviado en el punto de descarga al tanque receptor, para lo mismo se utilizó un balde de un litro y un cronometro para determinar el tiempo de llenado.

Las mediciones se realizaron en los meses de agosto una semana y septiembre por dos semanas y el clima fue variado.

Una vez obtenidos los datos se realiza los cálculos pertinentes para determinar el caudal promedio.

TABLA 3 Promedio final del caudal del lixiviado

<i>Meses</i>	<i>Promedio mensual Q (L/s)</i>
Agosto	0,0112
Septiembre	0,0052
Promedio Final	0,0082 L/s

Fuente: Grupo Investigación Facultad Ciencias, 2017

Recurso Solar

El destilador solar aprovecha la radiación directa y difusa para poder llevar a cabo el proceso térmico de transferencia de calor y masa. La radiación al llegar al vidrio sufre reflexión, absorción

y transmitancia por lo tanto la radiación que entra al destilador es: $G_s (1 - \alpha_g)$ donde α_g , es un factor que incluye la reflexión y la absorción de la radiación solar en el vidrio (Guerrero, 1989). La radiación que ingresa al destilador choca contra la superficie del agua, aquí parte es reflejada y parte es absorbida y la mayoría llega al fondo de la bandeja en la cual parte de la radiación es nuevamente refleja y parte la mayor es absorbida, siendo esta: $G_s (1 - \alpha_g) (1 - \alpha_a)$ donde α_a es un factor que incluye la reflexión y absorción por el agua y la reflexión por el fondo del destilador. Los valores de α_g y α_a son 0.1 y 0.3 respectivamente (Martínez, 2014).

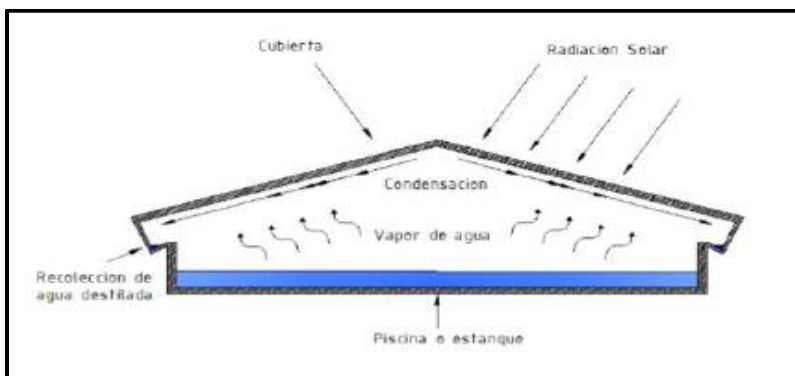


Figura 1. Destilador solar de dos vértices

FUENTE: Grupo Investigación Facultad Ciencias, 2017

Sistema de Tratamientos de Lixiviados

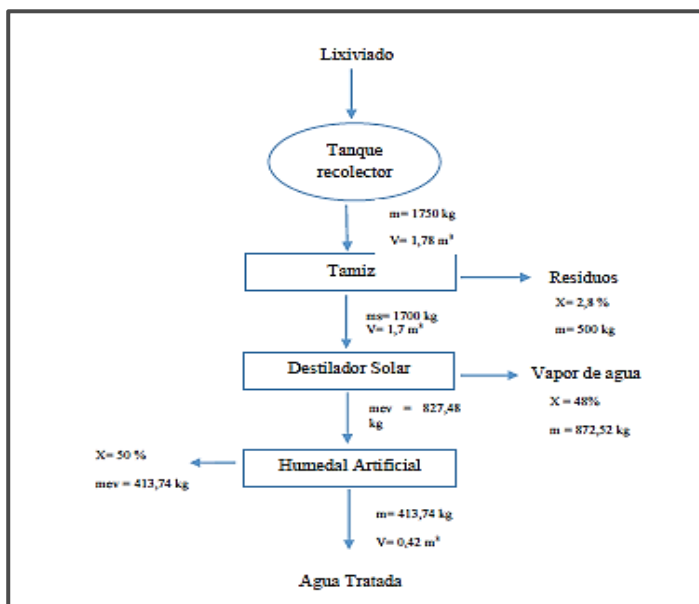


Figura 2. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de lixiviados

FUENTE: Grupo Investigación Facultad Ciencias, 2017

Tabla 4. Sistema de tratamientos de lixiviados

Etapa del sistema	Descripción	Cantidad	Unidad
Canal	Hormigón Simple (fc=280 Kg/cm ²)	0,36	m ³
	Acero de Refuerzo (fy=4,200 Kg/cm ²)	25,7	Kg
	Enlucido interior liso	1,8	m ²
Tamices	Tamiz de 2" (5 cm)	1	m
	Tamiz No. 4 (0,47 cm)	1	m
Humedales Artificiales	Geomembrana (HDPE)	58	m ²
	Filtrante de arena (e=10 cm)	1,5	m ³
	Filtrante de grava fina (e=25 cm)	3,75	m ³
	Filtrante grava media (e=25 cm)	3,75	m ³
	Plantas (totoras)	150	U
Destiladores Solares	Soporte del destilador (Tubo cuadrado 2"x2 mm+ plancha de tol e=1/8)	4	U
	Bandeja colectora (acero inoxidable e=2 mm)	4	U
	Aislante (Lana de vidrio)	27,28	m ²
	Cubierta del destilador (aluminio + vidrio e=6 mm)	18,88	m ²

FUENTE: Grupo Investigación Facultad Ciencias, 2017

Resultados

Las pruebas de tratabilidad realizadas a los lixiviados del relleno sanitario se basaron en filtrar residuos de gran tamaño, destilar los lixiviados utilizando la energía solar y finalmente se utiliza un humedal artificial; el proceso descrito será el que se utilice en la planta de tratamiento de lixiviados debido que la eficiencia del mismo es alta en cuanto a la remoción de contaminantes, para que los parámetros se encuentren dentro de los límites permisibles según indica el TULSMA.

La caracterización inicial y final de los lixiviados nos dio los siguientes resultados en cuanto a la remoción de los contaminantes del agua.

Entre los parámetros físicos se tiene (tabla 23.3): el color con un valor inicial de 9410 UTC y un valor final de 187 UTC, además con un porcentaje de remoción del 98,01 %; la turbidez dio un valor inicial y final de 183 NTU y 1,13 NTU respectivamente, siendo el porcentaje de remoción del 99,38%; en cuanto al TDS los valores iniciales y finales obtenidos fueron 7,5 g/L y 0,6 g/L, con un porcentaje de remoción del 92%; mientras que las sales dio valores iniciales y finales de 93 8,1 y 0,5 respectivamente (parámetro adimensional), con un porcentaje de remoción del 93,83%; la conductividad con un valor inicial de 14,3 ms/cm y un valor final de 0,99 ms/cm y con un porcentaje de remoción del 93,08%; finalmente el pH dio un valor inicial 8,14 y un valor final de 7,85 el cual se encuentra dentro del rango permisible.

Entre los parámetros químicos que con el tratamiento finalmente se encuentran dentro del límite permisible se tiene : el nitrógeno con un valor inicial de 13600 mg/L y un valor final de 40,2 mg/L,

con un porcentaje de remoción del 99,7%; el DBO5 presento valores iniciales y finales de 7060 mg/L y 71 mg/L respectivamente, con una remoción del 98,99%; en el DQO se obtuvo un valor inicial de 3670 mg/L y un valor final de 125 mg/L dándonos una remoción del 96,59%; los sólidos totales dieron un valor inicial de 7080 mg/L y un valor final de 728 mg/L, con una remoción del 89,72%; en cuanto a los sulfuros el valor inicial es 2,60 mg/L y el valor final es <0,5 mg/L, con una remoción del 80,77%; por último los tensoactivos dieron inicialmente un valor de 3,45 mg/L y un valor final de 0,47 mg/L, con una remoción de 86,38%.

Todos los parámetros químicos presentados y analizados se compararon con los límites permisibles mencionados en la tabla 9 para descargar a cuerpos de agua dulce, anexo 1, libro IV del TULSMA, para validar los resultados obtenidos una vez aplicado el tratamiento.

Discusión

El objetivo principal de esta investigación fue reducir la cantidad de lixiviados generados por la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate - Pelileo EMMAIT-EP, con el fin de cumplir con lo que estipula el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) libro VI, Anexo 1, tabla 9.

Con el diseño propuesto se establece la utilización de la energía radiante mediante un destilador solar lo que convierte al diseño en un proceso amigable con el medio ambiente.

Los costos de implementación en el caso de que se pusiera en marcha el proceso representarían una inversión económica que justifica la necesidad de la empresa de dar tratamiento a los lixiviados y poder cumplir con la Normativa ambiental vigente en el país; este costo de inversión del sistema de tratamiento de lixiviados sería de alrededor \$7500.

Conclusiones

- Se determinó el caudal existente del relleno sanitario por medio del método volumétrico mismo que es de 0,71 m³/día, además se determinó un caudal de diseño con un valor de 1,78 m³/día.
- Se realizó la caracterización física, química y microbiológica de los lixiviados producidos en el relleno sanitario, para determinar los parámetros que se encuentran por encima de los límites máximos permisibles siendo estos: Nitrógeno total 13600 mg/L, tensoactivos 3,45 mg/L, sulfuros 2,60 mg/L, DBO5 7060 mg/L, sólidos totales 7080 mg/L, sólidos suspendidos 220 mg/L, coliformes totales 25000 UFC/g.
- Se identifica que las variables de cada uno de los procesos para el diseño de la plana de tratamiento de lixiviados son: el caudal de lixiviados generado en el relleno sanitario (2 m³/día); el área (6 m²) y volumen (1,78 m³) de la bandeja recolectora del destilador solar; el volumen (3,7 m³) y el área (338,92 m²) del humedal artificial de flujo subsuperficial, así como el tiempo de retención hidráulica (151,7 días).
- Con el diseño de tratamiento para los lixiviados se logra disminuir la carga contaminante de los lixiviados, dándonos valores para el nitrógeno 40,2 mg/L, los tensoactivos 0,47 mg/L, los sulfuros < 0,5 mg/L, DQO 125 mg/L, DBO5 71 mg/L, sólidos totales 728 mg/L, sólidos suspendidos 3 mg/L, coliformes totales 996 UFC/g; mismos que están dentro de

los límites máximos permisibles según el TULSMA 2016 libro IV, anexo 1, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

- Se realizó la caracterización final del agua tratada para validar el tratamiento propuesto con lo que se generó los siguientes porcentajes de remoción 98,01 % color, 99,38 % turbidez, 92 % TDS, 93,83 % sales, 93,08 % conductividad, 99,7 % nitrógeno, 98,99 % DBO5, 96,59 % DQO, 89,72 % sólidos totales, 80,77 % sulfuros, 86,38 % tensoactivos, 98,64 % sólidos suspendidos. El sistema de tratamiento planteado es amigable con el ambiente debido a que no utiliza químicos para tratar el agua, además de que brinda una nueva opción de tratamiento para las aguas residuales, al no aplicar ningún concepto de las plantas de tratamiento comunes.

Referencias bibliográficas

- Álvarez. A. & Suarez, J. (2006). "Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario El Guayabal de la ciudad San José de Cúcuta". Ingeniería y Desarrollo. [En línea], Colombia, (20), pp. 96-105.
- Cisterna. P. & Peña, D. "Determinación de la reacción DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región" [En línea]. [Consulta: 13 enero 2017]. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
- Corena L. & Mironel de Jesús. (2008). "Sistema de Tratamiento de para Lixiviados generados en Rellenos Sanitarios" [En línea] (tesis). Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, Sincelejo, Colombia. pp. 1-80.
- Crites R. & Tchobanoglous. G. (2007). "Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones". Santa Fé de Bogotá, Colombia: Nomos S.A, pp. 241-469, 556- 564.
- El Telégrafo. (2013). "Pelileo y Patate unen sus fuerzas para manejar basura". <http://www.aguaquito.gob.ec/calidad-del-agua>
- Ecuador Instituto de Meteorología e Hidrología. (2016). "Boletín climatológico semestral" [En línea].
- Gómez. E. & Llagas, W. (2006). "Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM". Instituto de Investigaciones FIGMM. Vol. 15, No 17, (Perú) pp. 86-96. ISSN 1628-8097
- Guerrero. L. (1989). "Destiladores Solares". Revista Ciencias [En línea]. (México) (15), pp. 1-3.
- Guevara. A. & De La Torre E. (2014). "Diseño de Sistemas de Tratamiento de Lixiviados del Relleno Sanitario El Inga mediante Electrocoagulación y Fitorremediación". Revista EPN. (Ecuador) vol. 34, No 1, pp. 1-8.

- Martínez L. (2014). "Alternativas Actuales del Manejo de Lixiviados". Avances en Química [En línea], (Venezuela) 9(1), pp. 37-46. ISSN 1856-5301.
- Rodríguez. L. & Saavedra D. (2008). Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de energías renovables - DECEM (tesis). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica. Sangolquí, Quito. pp. 7-161.
- Romero. M. et al. Sapiens. (2009). "Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de humedales artificiales piloto: evaluación de la remoción de carga orgánica". Revista Internacional de Contaminación Ambiental. (México). 25(3), pp. 1-12.
- Solís. C. (2008). "Diseño de Tratamiento de aguas residuales municipales- Maestría en Ciencias Ambientales con énfasis en tratamiento del agua. Universidad Autónoma de México". (México).
- TULSMA (2016). Libro VI, Anexo 1, tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO

Andrade Avalos, M. L., Borja Mayorga, D. F., & Calderón, H. S. C. (2020). Diseño de una planta de tratamiento de lixiviados para empresas públicas municipales de aseo integral zona 3 Ecuador. *Ciencia Digital*, 4(1), 197-208. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1094>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

